

ANALISIS INSTALASI STRUKTUR JACKET 8 KAKI DI LAHAN KEPODANG

Hafiza Dhyantry Ramadhini¹ dan Sri Murti Adiyastuti²

Program Studi Teknik Kelautan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

¹hafizadra@gmail.com dan ²adiyastuti@ocean.itb.ac.id

Abstrak: Anjungan lepas pantai sebagai sarana eksplorasi energi minyak dan gas membutuhkan perencanaan yang matang dalam setiap tahap pengadaannya. Salah satu tahapan dalam pengadaan ini adalah tahap instalasi, yaitu tahap di mana struktur anjungan dipasang pada lokasi target operasi.

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk mendapatkan konfigurasi instalasi struktur *jacket* pada tahap *floatation* dan *upending* dalam kondisi utuh maupun kondisi rusak secara optimum. Sebelum analisis instalasi dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengecekan kelayakan struktur anjungan secara keseluruhan ketika struktur berdiri (analisis *inplace*). Seluruh simulasi analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Structural Analysis Computer System* (SACS).

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pada saat instalasi hanya boleh terjadi kerusakan pada tiga buah *jacket leg* atau pada kedua *buoyancy tank* dan tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada *jacket leg* LEG 8 sama sekali. Untuk menghindari resiko kerusakan pada *jacket leg* tersebut, disarankan untuk menambah *closure plate* yang akan membagi rongga *jacket leg* menjadi beberapa bagian. Berdasarkan pemodelan tersebut dipilih DLB 1600 milik Valentine Maritime LCC sebagai kapal *crane* yang akan digunakan untuk instalasi struktur *jacket*.

Kata kunci: analisis *inplace*, analisis instalasi, analisis *floatation*, analisis *upending*.

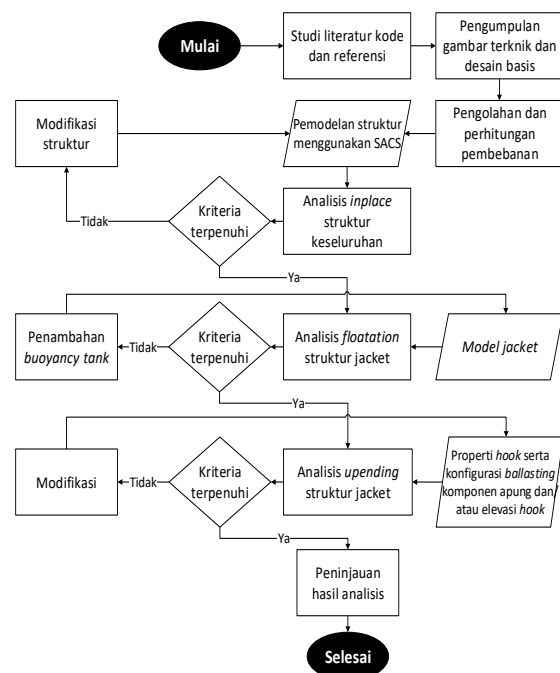
PENDAHULUAN

Desain bangunan lepas pantai terdiri dari beberapa tahapan desain. Konfigurasi, susunan, ukuran elemen dan spesifikasi struktur dapat ditentukan setelah melalui iterasi desain. Untuk memperoleh desain yang optimal yang sesuai dengan metoda instalasi yang direncanakan dan memenuhi keperluan operasi, sebuah prosedur desain yang sesuai dengan proyek harus terlebih dahulu dipersiapkan (Tawekal, 2011).

Studi kasus yang dilakukan dalam tugas akhir ini berupa pemilihan konfigurasi instalasi struktur *jacket* pada kondisi utuh maupun pada kondisi rusak yang akan diperiksa berdasarkan kriteria dalam dokumen Noble Denton no. 28. Sebelum itu, harus dipastikan bahwa struktur anjungan dapat beroperasi dengan melakukan analisis *inplace* berdasarkan kriteria dalam API RP 2A. Selanjutnya barulah dilakukan analisis instalasi untuk mendapatkan konfigurasi saat instalasi struktur pada tahap *floatation* dan *upending*.

METODOLOGI

Metodologi penulisan tugas akhir ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.

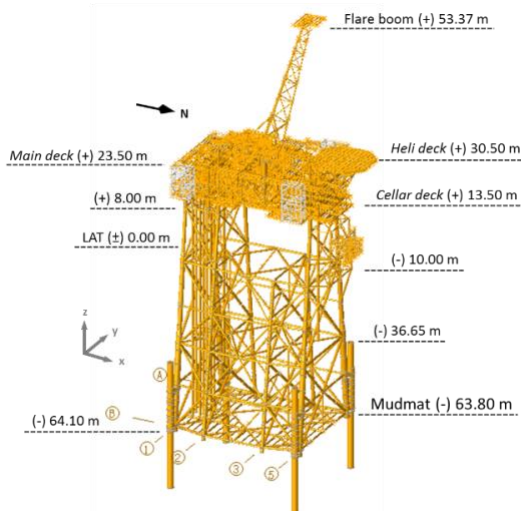


Gambar 1 Diagram alir penulisan.

DESKRIPSI STRUKTUR

Struktur yang digunakan dalam studi kasus tugas akhir ini merupakan anjungan eksisting tipe *fixed jacket* (**Gambar 2**) milik perusahaan energi asal Malaysia yang terletak di ladang gas Kepodang dengan letak astronomis pada 5°57'50.73" LS dan 111°44'06.23" BT.

Struktur anjungan direncanakan untuk beroperasi di perairan dengan kedalaman 64.1 meter dari LAT. Bagian topside struktur disebut dengan *Central Processing Platform* (CPP) terdiri dari dua modul, yakni *Well Head Module* (WHM) dan *Production Deck* (PD) sedangkan bagian substruktur terdiri dari delapan buah kaki dan empat buah *skirt pile*. Masa layan rencana anjungan lepas pantai ini adalah dua puluh tahun.



Gambar 2 Anjungan lepas pantai di Lahan Kepodang.

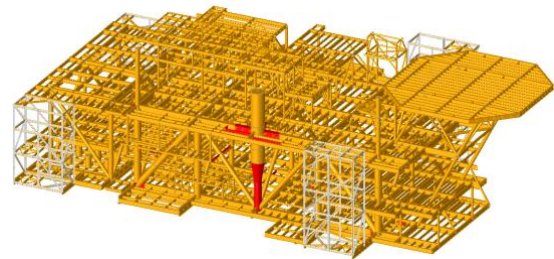
ANALISIS INPLACE

Analisis *inplace* merupakan analisis statik struktur anjungan lepas pantai yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan layan struktur ketika sudah berdiri. Analisis *inplace* terbagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi operasi dan kondisi badai. Analisis *inplace* dalam kondisi operasi dilakukan dengan menggunakan data lingkungan dengan periode ulang satu tahunan. Sedangkan pada kondisi badai, data lingkungan yang digunakan adalah data lingkungan dengan periode ulang seratus tahunan. Keluaran dari analisis ini berupa nilai tegangan izin dan *joint punching shear* yang direpresentasikan dalam bentuk *unity check* (UC) yang nilainya dihitung dari **Persamaan (1)**.

$$UC = \frac{Tegangan\ aktual}{Tegangan\ Izin} \quad (1)$$

Untuk kepentingan desain anjungan lepas pantai, API RP 2A mensyaratkan besar tegangan izin maksimum pada kondisi operasi adalah 1.0 dan untuk kondisi badai sebesar 1.3, sementara nilai UC *joint punching shear* pada kondisi operasi maupun badai sebesar 1.0. Member yang memiliki nilai UC yang lebih besar dari kriteria dianggap mengalami kegagalan desain.

Hasil pemodelan analisis *inplace* menunjukkan bahwa beberapa member pada struktur *topside* tidak memenuhi kriteria UC (**Gambar 3**) dengan nilai UC terbesar 7.07. Oleh karena itu dilakukan modifikasi properti dan konfigurasi pada member yang mengalami kegagalan.



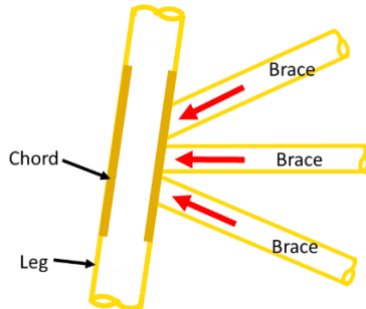
Gambar 3 Lokasi member tidak memenuhi kriteria UC pada struktur *topside* (warna merah).

Setelah dilakukan redesain, didapatkan nilai UC paling tinggi pada kondisi operasi sebesar 0.80 yang terjadi pada member di *main deck* sekitar kedudukan *crane* dan pada kondisi badai sebesar 0.79 yang terjadi pada member sekunder di *cellar deck* dan *jacket leg* elevasi (-)36.65 m. Beberapa nilai UC lainnya disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1 10 Nilai UC Tertinggi

Operasi		Badai	
Group ID	UC	Group ID	UC
IP1	0.80	A06	0.79
W04	0.79	W94	0.79
W28	0.79	W95	0.79
W33	0.79	W26	0.78
W94	0.79	IP1	0.76
W95	0.79	W23	0.76
W23	0.78	W33	0.76
W61	0.78	W22	0.75
W21	0.77	W24	0.75
W26	0.77	W28	0.75

Pengecekan UC untuk *joint punching shear* dilakukan pada sambungan las antara member tubular *jacket leg* dengan *brace* horizontal dan diagonal berupa batang tubular yang lebih tebal dibanding member lain disekitarnya (*joint can*) (**Gambar 4**).



Gambar 4 Ilustrasi *joint can*.

Nilai UC *joint can* untuk analisis *inplace* disajikan pada **Tabel 2**.

Tabel 2 10 Nilai UC *Joint Can* Tertinggi

Operasi		Badai	
Joint	UC	Joint	UC
407L	0.601	301L	0.886
301L	0.482	407L	0.799
0042	0.370	0042	0.446
0043	0.362	0043	0.424
0046	0.327	0046	0.419
0053	0.300	0053	0.398
406L	0.299	306L	0.389
306L	0.279	0022	0.376
506L	0.274	406L	0.367
502L	0.271	0012	0.361

ANALISIS FLOATATION

Analisis *floatation* dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur sesaat setelah diluncurkan ke dalam air. Analisis ini akan dilakukan untuk kondisi utuh dan kondisi rusak menggunakan kriteria dalam dokumen Noble Denton No. 28 (**Tabel 3**).

Tabel 3 Kriteria Analisis *Floatation*

Kriteria	Utuh	Rusak
<i>Reserved buoyancy</i>	15 %	5 %
<i>Mudline clearance</i>	10 % kedalaman perairan atau 5 m	> 0 m
Metasenter	0.5 m	0.2 m

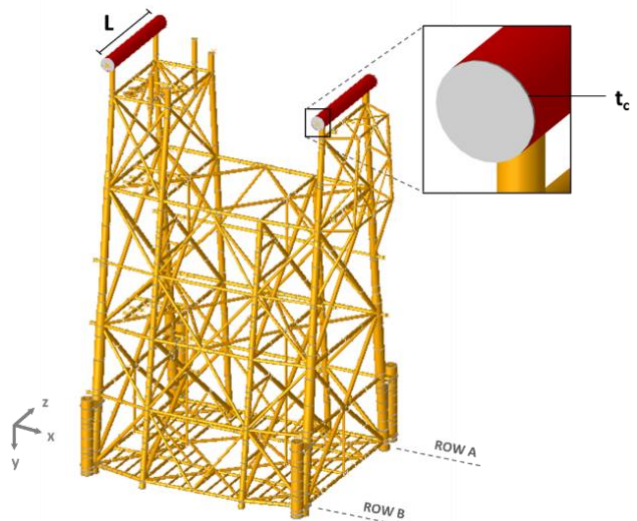
Model struktur yang digunakan untuk analisis instalasi yaitu model *jacket* tanpa model *deck*, *pile*, *boat-landing*, *riser* dan konduktor (**Gambar 5**). Pembebanan saat analisis ini hanya meliputi beban mati struktur tanpa beban lingkungan.



Gambar 5 Ilustrasi model struktur untuk analisis *floatation*.

Hasil pemodelan analisis *floatation* struktur pada kondisi utuh menunjukkan berat struktur sebesar 2463.85 ton, gaya apung sebesar 2720.543, serta parameter *reserve buoyancy* sebesar 6.44% yang belum memenuhi kriteria instalasi sehingga dilakukan penambahan gaya apung melalui penambahan *buoyancy tank*.

Pada tugas akhir ini akan digunakan dua buah *buoyancy tank* masing-masing sepanjang 22 meter dengan diameter 2.70 m, tebal dinding 1.60 cm dan tebal tutup 2.70cm. Sedangkan penempatan *buoyancy tank* dipilih sedemikian rupa sehingga seluruh bagian *tank* terendam dalam air serta mudah dilepas-pasang. Ilustrasi perletakan *buoyancy tank* pada struktur ditampilkan pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Model *buoyancy tank* (warna merah).

Selanjutnya dilakukan perhitungan volume (V_{BT}) dan massa *buoyancy tank* (W_{BT}) menggunakan **Persamaan (4)** dan **(5)**.

$$V_s = \left[\left(\frac{\pi}{4} \cdot (D)^2 \right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot (D - 2 \cdot t)^2 \right) \right] \times L \quad (2)$$

$$V_c = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \right) \times t_c \quad (3)$$

$$V_{BT} = V_s + 2 \cdot V_c \quad (4)$$

$$W_{BT} = \rho_s \cdot V_{BT} \quad (5)$$

dimana:

V_s : volume silinder *buoyancy tank*

V_c : volume tutup *buoyancy tank*

ρ_s : massa jenis baja

sehingga

$$V_s = \left[\left(\frac{\pi}{4} \cdot (2.70)^2 \right) - \left(\frac{\pi}{4} \cdot (2.70 - 2 \cdot 0.016)^2 \right) \right] \times 22$$

$$V_s = 2.97 m^3$$

$$V_c = \left(\frac{\pi}{4} \cdot 2.70^2 \right) \times 0.027 = 0.15 m^3$$

$$W_{BT} = 7.85 \cdot (2.97 + 2 \cdot 0.15) = 25.67 ton$$

$$2 \cdot W_{BT} = 2 \cdot 25.67 = 51.34 ton$$

Perhitungan gaya apung *buoyancy tank* (F_{BT}) dilakukan dengan **Persamaan (6)**.

$$F_{BT} = \rho_w \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D)^2 \cdot L \quad (6)$$

dimana:

ρ_w : massa jenis air laut

sehingga

$$F_{BT} = 1.025 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (2.70)^2 \cdot 22 = 129.11 ton$$

$$2 \cdot F_{BT} = 2 \cdot 129.11 = 258.22 ton$$

Pengecekan nilai *reserve buoyancy* struktur dengan tambahan *buoyancy tank* dilakukan dengan menjumlah massa serta gaya apung (*buoyancy*) struktur *jacket leg* dengan massa serta gaya apung (*buoyancy*) dari *buoyancy tank* (**Persamaan (9)**).

$$W_{tot} = W_{struktur} + W_{BT} \quad (7)$$

$$F_{tot} = F_{struktur} + F_{BT} \quad (8)$$

$$Reserve\ buoyancy = \frac{F_{tot} - W_{tot}}{F_{tot}} \times 100\% \quad (9)$$

dimana:

$W_{struktur}$: berat struktur *jacket*

$F_{struktur}$: gaya apung struktur *jacket*

sehingga

$$W_{tot} = 2463.85 + 51.34 = 2515.19 ton$$

$$F_{tot} = 2720.54 + 258.22 = 2978.76 ton$$

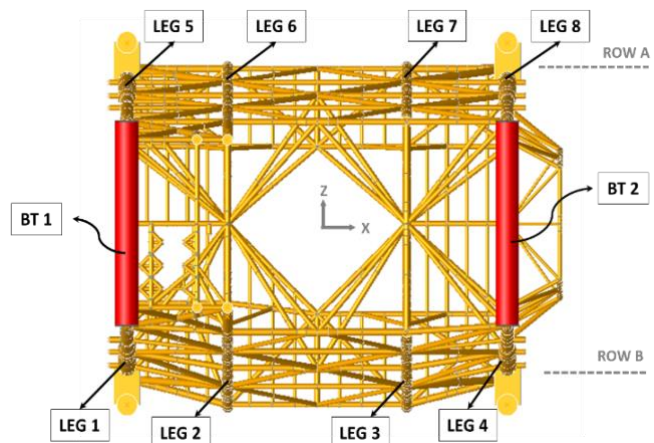
$$Reserve\ buoyancy = \frac{2978.76 - 2515.19}{2978.76} \times 100\%$$

$$Reserve\ buoyancy = 15.56\%$$

Hasil pemodelan analisis *floatation* kondisi utuh setelah ditambahkan dua buah *buoyancy tank* menghasilkan *reserve buoyancy* sebesar 15.44%, *mudline clearance* 23.38 m, serta panjang metasenter transversal 20.12 m dan panjang metasenter longitudinal 26.34.

Analisis *floatation* kemudian dilanjutkan untuk kondisi rusak, yaitu kondisi masuknya air ke dalam komponen struktur sehingga terjadi pengurangan *buoyancy* serta perubahan pada stabilitas struktur. Menurut Chakrabarti (2005), kasus kondisi rusak meliputi kompartemen paling besar, yaitu *jacket leg*, sehingga kasus kondisi rusak dikhususkan pada elemen *leg* dan *buoyancy tank* sebagai penyumbang *buoyancy* paling besar. Dalam pemodelan analisis *floatation* kondisi rusak, diasumsikan bahwa elemen-elemen tersebut mengalami kerusakan sehingga seluruh bagiannya terisi air.

Pemodelan akan dilakukan untuk mendapatkan konfigurasi *floatation* dengan kerusakan paling parah namun masih memenuhi kriteria analisis. Sebelumnya dilakukan pembagian *jacket leg* (LEG) dan *buoyancy tank* (BT) terlebih dahulu (**Gambar 7**).



Gambar 7 Pembagian *jacket leg* dan *buoyancy tank*.

Setelah dilakukan pemodelan, didapatkan kondisi *floatation* dengan kerusakan paling parah untuk satu *leg* terjadi pada LEG 5, dua *leg* pada LEG 1 dan LEG 6, tiga *leg* pada LEG 2, LEG 3 dan LEG 4, serta pada kedua *buoyancy tank* (Tabel 4).

Tabel 4 Hasil Analisis *Floatation* Kondisi Rusak Terparah

Letak kerusakan	Buoyancy (%)	Clearance (m)	GM (m)	
			Trans.	Long.
LEG 5	10.84	9.22	1.54	6.15
LEG 1 LEG 6	8.33	5.60	2.13	6.84
LEG 2 LEG 3 LEG 4	6.50	4.02	2.91	5.48
BT 1 BT 2	7.57	26.00	27.50	49.77

Dari berbagai konfigurasi kerusakan pada *jacket leg*, diketahui bahwa kerusakan pada LEG 8 sama sekali tidak diperbolehkan terjadi sehingga disarankan untuk digunakan *closure plate* yang membagi rongga *leg* menjadi beberapa kompartemen sehingga kebocoran *leg* keseluruhan dapat dihindari.

Hasil analisis *floatation* selanjutnya digunakan untuk analisis lanjutan, analisis *upending*.

ANALISIS UPENDING

Analisis *upending* dilakukan untuk memastikan bahwa struktur dapat berdiri tegak pada lokasi target. Proses *upending* yang dilakukan dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap *upending* dan tahap *post-upending*. *Upending* dimaksudkan sebagai proses perubahan posisi struktur yang ditidurkan ke posisi tegak, sementara proses *post-upending* dilakukan untuk meletakkan struktur yang sudah tegak agar dapat didirikan pada lokasi target.

Metode *upending* yang digunakan ditentukan dalam desain basis struktur, yaitu dengan metode *controlled flooding* dengan bantuan kran. Proses *upending* menggunakan metode ini dilakukan dengan melakukan *ballasting* pada *jacket leg* dan dibantu dengan *hook* dengan kapasitas paling besar (*main hook*) pada kapal kran. Hasil analisis ini berupa konfigurasi serta pemilihan kran yang akan digunakan

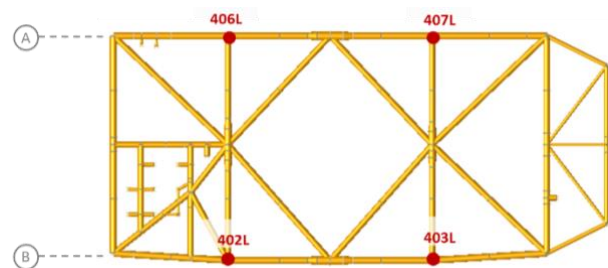
untuk instalasi dan selanjutnya diperiksa sesuai dengan ketentuan dalam dokumen Noble Denton (Tabel 5).

Tabel 5 Kriteria Analisis *Upending*

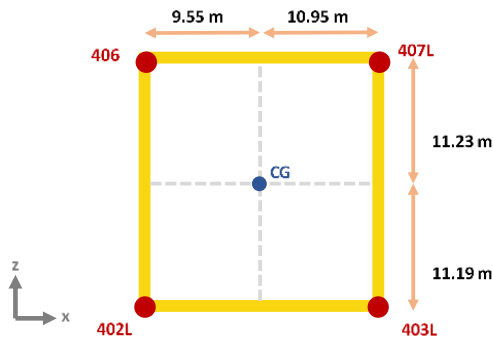
Kriteria	Utuh	Rusak
<i>Reserved buoyancy</i>	Cukup memenuhi <i>clearance</i>	-
<i>Mudline clearance</i>	3 m	> 0 m
Metasenter (trans.)	0.5 m	0.2 m
Metasenter (trans.)	> 0 m	> 0 m

Model *jacket* yang digunakan dalam analisis *upending* sama dengan model *jacket* yang digunakan dalam analisis *floatation*. Selain model tersebut, ada beberapa alat tambahan yang digunakan sebagai penyalur beban pengangkatan ke kran, diantaranya *padeye*, *sling*, serta *hook*.

Sebelum melakukan analisis *upending*, terlebih dahulu dilakukan penentuan properti *sling* yang digunakan. Panjang *sling* ditentukan berdasarkan perletakan *padeye*, letak pusat massa struktur (CG), dan sudut kerja *sling*. Letak *padeye* sudah ditentukan dalam gambar teknik, yaitu pada *bracing jacket leg* pada elevasi (-) 10 m (Gambar 8), letak pusat massa dengan jarak ke titik perletakan *padeye* ditunjukkan pada Gambar 9, sedangkan sudut kerja *sling* yang digunakan sebesar 60° sesuai dengan ketentuan minimum dalam dokumen Noble Denton No. 27.

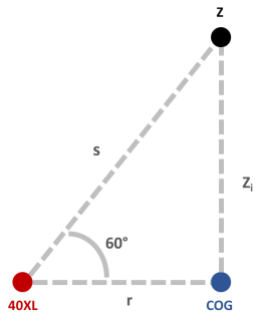


Gambar 8 Lokasi perletakan *padeye* pada *bracing jacket leg* elevasi (-)10 m.



Gambar 9 Jarak perletakan *sling* ke pusat massa struktur.

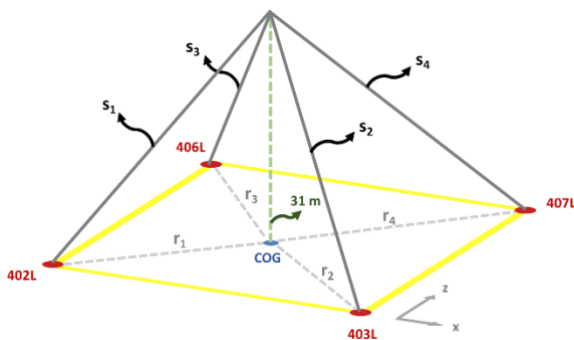
Perhitungan panjang *sling* (s) dilanjutkan dengan menentukan jarak *hook* minimum ke CG (Z) (**Gambar 10**). Jarak minimum ini didapatkan dari jarak paling besar dari perhitungan pada **Tabel 6** dengan ilustrasi perhitungan yang ditampilkan pada **Gambar 11**.



Gambar 10 Ilustrasi penentuan nilai Z.

Tabel 6 Perhitungan Jarak Minimum *Hook* ke CG

Joint	Jarak ke CG (m)			Zi (m)
	x	z	r	
402L	9.55	11.19	14.71	25.48
403L	10.95	11.19	15.66	27.12
406L	9.55	11.23	14.74	25.53
407L	10.95	11.23	15.68	27.16



Gambar 11 Ilustrasi perhitungan panjang *sling*.

Berdasarkan perhitungan pada **Tabel 6**, didapatkan jarak minimum *hook* ke CG sebesar

27.16 m. Jarak minimum ini kemudian digunakan untuk perhitungan panjang *sling* pada **Tabel 7**.

Tabel 7 Perhitungan panjang *sling*.

<i>Sling</i>	Panjang <i>Sling</i> (m)	
s1	$\sqrt{(14.71)^2 + (27.16)^2}$	30.89
s2	$\sqrt{(15.66)^2 + (27.16)^2}$	31.35
s3	$\sqrt{(14.74)^2 + (27.16)^2}$	30.90
s4	$\sqrt{(15.68)^2 + (27.16)^2}$	31.36

Berdasarkan perhitungan, dipilih panjang *sling* pada titik 402L dan 406L sepanjang 31.0 m sedangkan pada titik 403L dan 407L sepanjang 31.5 m dengan modulus elastisitas sebesar 110 kN/mm².

Input lain yang digunakan dalam analisis *upending* adalah konfigurasi elevasi *hook* serta *ballasting* pada *jacket leg*. Elevasi *hook* digunakan untuk mengatur pengangkatan struktur, sementara *ballasting* pada *jacket* berfungsi sebagai gaya penegak struktur.

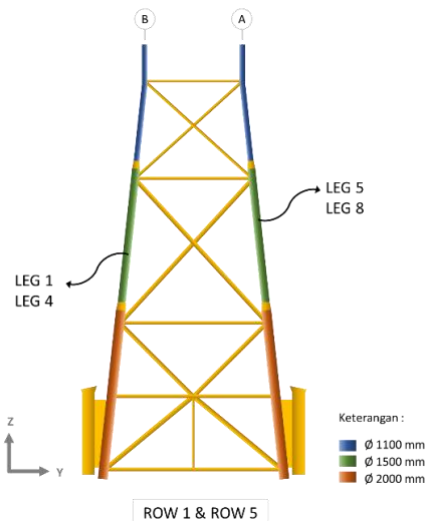
Konfigurasi *upending* dibagi menjadi enam STEP dimana STEP 1 adalah kondisi *floatation*, STEP 2 hingga 5 adalah tahap *upending* yang dilakukan dengan *ballasting* pada LEG 1 dan LEG 4 sebanyak 30% serta pada LEG 5 dan LEG 8 sebanyak 35% dan STEP 6 adalah tahap *post-upending* yang dilakukan dengan *ballasting* penuh seluruh *jacket leg*.

Hasil analisis *upending* berdasarkan konfigurasi tersebut disajikan dalam **Tabel 8** di mana sudut *pitch* (rotasi terhadap sumbu x) akhir struktur sebesar 83.44, beban *hook* maksimum 825.7 ton dan semua kriteria *upending* terpenuhi.

Tabel 8 Hasil Analisis *Upending* Kondisi Utuh

Parameter	Upending		Post-upending	
	Kriteria	Model	Kriteria	Model
Clearance	3 m	8.84 m	-	-
Metasenter (trans.)	0.5 m	3.10 m	0.5 m	6.44 m
Metasenter (long.)	> 0 m	4.97 m	0.5 m	6.44 m
Cek	OK		OK	

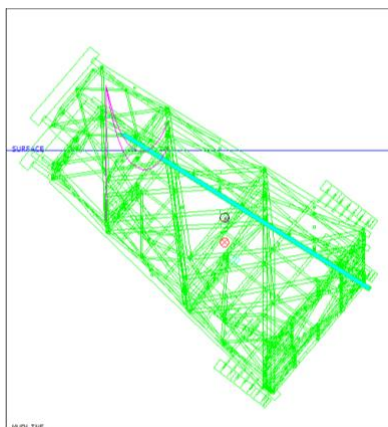
Pada plot akhir pemodelan *upending* kondisi utuh diketahui bahwa elevasi air pada LEG 1, LEG 4, LEG 5 dan LEG 8 lebih tinggi dari pada elevasi air di sekitarnya. Perbedaan elevasi ini dapat terjadi karena perbedaan dimensi diameter dan ketebalan dinding pada *jacket leg* tersebut (**Gambar 12**) sehingga terjadi perbedaan tekanan yang membuat sebagian massa air terbawa naik.



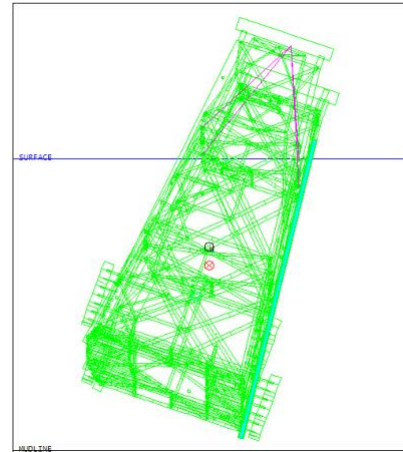
Gambar 12 Perbedaan dimensi pada *jacket leg* terluar.

Analisis *upending* dilanjutkan untuk kondisi rusak pada kasus kerusakan terparah dari hasil analisis *floatation* (**Tabel 4**).

Kasus kerusakan terparah pada satu *leg* terjadi pada LEG 5. Saat dimodelkan menggunakan metode pengangkatan menggunakan satu buah *hook*, didapatkan konfigurasi instalasi yang ekstrim (**Gambar 13** dan **Gambar 14**). Kondisi ekstrim ini sebisa mungkin dihindari untuk mencegah terjadi kecelakaan kerja.



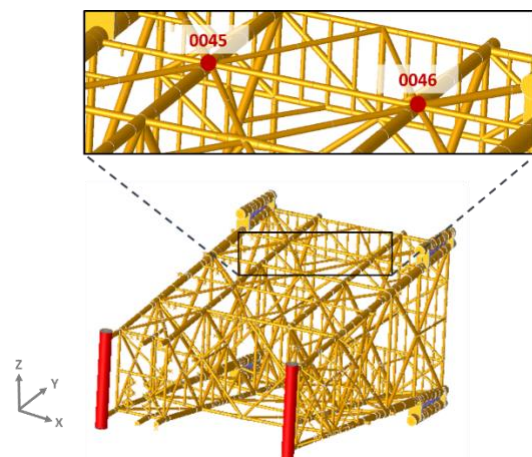
Gambar 13 Plot konfigurasi *upending* kondisi rusak pada LEG 5 saat elevasi *hook* (+)15.00 m



Gambar 14 Plot konfigurasi *upending* kondisi rusak pada LEG 5 saat elevasi *hook* (+)25.00 m

Konfigurasi *upending* kondisi rusak pada LEG 5 kemudian dilakukan dengan menggunakan metode pengangkatan oleh dua *hook* pada satu kran (*double hook with single crane* (DHSC)). *Hook* yang digunakan yaitu *main hook* dan *auxiliary hook*. *Auxiliary hook* merupakan *hook* sekunder dengan kapasitas yang kecil dari *main hook* namun dengan jangkauan pengangkatan dan penurunan yang lebih besar.

Pemodelan *upending* dengan metode DSHC dilakukan dengan menambah empat buah *sling* masing-masing sepanjang 30.0 m dengan sudut kerja 70°. Letak pengaitan *sling* tambahan ini ditampilkan pada **Gambar 15**.



Gambar 15 Lokasi pengaitan *hook* tambahan metode DHSC.

Konfigurasi konfigurasi *upending* kondisi rusak pada LEG 5 dengan metode DHSC disajikan pada **Tabel 9**.

Tabel 9 Konfigurasi *Upending* dengan Kasus Kerusakan pada LEG 5.

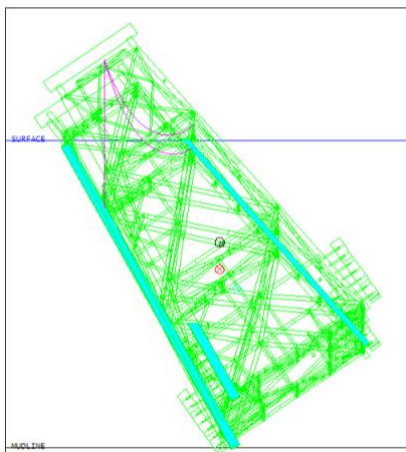
STEP	Elevasi Hook (m)		Ballasting
	Main	Aux.	
1	0	- 10.0	100 % LEG 5 (rusak)
2	0	15.0	-
3	23.0	18.0	40% LEG 4, LEG 8
4	28.0	-18.0	50% LEG 1
			75% LEG 4, LEG 8
5	17.70	-35.0	100% LEG 1, LEG 2, LEG 3, LEG 4 LEG 6, LEG 7, LEG 8

Hasil pemodelan *upending* dengan konfigurasi tersebut disajikan pada **Tabel 10** di mana sudut *pitch* akhir struktur sebesar 83.47, beban *main hook* maksimum 827.0 ton, beban *auxiliary hook* maksimum 209.3 ton dan semua kriteria *upending* terpenuhi.

Tabel 10 Hasil Analisis *Upending* Kondisi Rusak pada LEG 5

Kriteria	Kriteria	Model
<i>Mudline clearance</i>	> 0 m	5.67
Metasenter (trans.)	0.2 m	1.44
Metasenter (long.)	> 0 m	5.35

Kasus kerusakan terparah pada dua *leg* terjadi pada LEG 1 dan LEG 6. Saat dimodelkan menggunakan metode pengangkatan dengan satu buah *hook* diketahui bahwa pada salah satu langkah *upending*, *mudline clearance* bernilai (-) 4.2 m sehingga tidak memenuhi kriteria (**Gambar 16**).



Gambar 16 Sampel plot konfigurasi *upending* kondisi rusak pada LEG 1 dan LEG 6.

Pemodelan instalasi selanjutnya dilakukan menggunakan metode DHSC dengan konfigurasi konfigurasi pada **Tabel 11**.

Tabel 11 Konfigurasi *Upending* dengan Kasus Kerusakan pada LEG 1 dan LEG 6.

STEP	Elevasi Hook (m)		Ballasting
	Main	Aux.	
1	0	- 10.0	100 % LEG 1, LEG 6 (rusak)
2	0	15.0	-
3	25.0	15.0	60% LEG 4, LEG 8
4	30.0	-20.0	60% LEG 5
5	17.70	-35.0	100% LEG 2, LEG 3, LEG 4 LEG 5, LEG 7, LEG 8

Hasil pemodelan *upending* dengan konfigurasi tersebut disajikan pada **Tabel 12** di mana sudut *pitch* akhir struktur sebesar 83.47, beban *main hook* maksimum 827.0 ton, beban *auxiliary hook* maksimum 212.5 ton dan semua kriteria *upending* terpenuhi.

Tabel 12 Hasil Analisis *Upending* Kondisi Rusak pada LEG 1 dan LEG 6

Kriteria	Kriteria	Model
<i>Mudline clearance</i>	> 0 m	4.19
Metasenter (trans.)	0.2 m	2.04
Metasenter (long.)	> 0 m	6.65

Kasus kerusakan terparah pada tiga *leg* terjadi pada LEG 2, LEG 3 dan LEG 4. Konfigurasi konfigurasi *upending* untuk kasus ini ditampilkan pada **Tabel 13**.

Tabel 13 Konfigurasi *Upending* dengan Kasus Kerusakan pada LEG 2, LEG 3 dan LEG 4

STEP	Elevasi Main Hook (m)	Ballasting
1	0.0	100 % LEG 2, LEG 3, LEG 4 (rusak)
2	14.0	-
3	30.0	-
4	30.0	100% LEG 5, LEG 6, LEG 7
5	25.0	-
6	17.70	100% LEG 1, LEG 8

Hasil pemodelan *upending* dengan konfigurasi tersebut disajikan pada **Tabel 14** di mana sudut *pitch* akhir struktur sebesar 83.44, beban *main hook* maksimum 825.7 ton dan semua kriteria *upending* terpenuhi.

Tabel 14 Hasil Analisis *Upending* Kondisi Rusak pada LEG 1 dan LEG 6

Kriteria	Kriteria	Model
<i>Mudline clearance</i>	> 0 m	2.12
Metasenter (trans.)	0.2 m	2.96
Metasenter (long.)	> 0 m	5.50

Kasus kerusakan terparah pada *buoyancy tank* terjadi pada BT 1 dan BT 2. Konfigurasi *upending* yang digunakan sama dengan konfigurasi yang digunakan pada kondisi utuh.

Hasil pemodelan *upending* dengan kerusakan pada kedua *buoyancy tank* disajikan pada **Tabel 15** di mana sudut *pitch* akhir struktur sebesar 83.44, beban *main hook* maksimum 825.7 ton dan semua kriteria *upending* terpenuhi.

Tabel 15 Hasil Analisis *Upending* Kondisi Rusak pada BT 1 dan BT 2

Kriteria	Kriteria	Model
<i>Mudline clearance</i>	> 0 m	2.12
Metasenter (trans.)	0.2 m	2.96
Metasenter (long.)	> 0 m	5.50

Berdasarkan hasil analisis *upending* pada kondisi utuh maupun kondisi rusak, diketahui bahwa dibutuhkan kran dengan kapasitas *main hook* minimum sebesar 829 ton dan kapasitas *auxiliary hook* minimum sebesar 215 ton. Radius pengangkatan diasumsikan sebagai jarak antara *hook* dan geometri sisi *jacket* pada *waterplan area* ditambah dengan *clearance area* sebesar 5 m sehingga radius pengangkatan minimum untuk *main hook* adalah 30 m dan untuk *auxiliary hook* adalah 50 m. Sementara tinggi pengangkatan *main hook* maksimum

yang dibutuhkan adalah sebesar 32 m dari permukaan air serta *auxiliary hook* maksimum sebesar 18 m di atas permukaan air dan 35 m di bawah permukaan air. Maka apabila jarak dari dek kerja crane 15 meter dari air, tinggi pengangkatan maksimum *main hook* dan tinggi penurunan maksimum *auxiliary hook* masing-masing (+)17 meter dan (-)50 meter dari dek kerja.

Untuk memenuhi kebutuhan instalasi struktur *jacket* di lahan Kepodang, dipilih kapal kran DLB 1600 yang merupakan kapal jenis satu lambung (*monohull*) milik Valentine Maritime LCC yang dapat digunakan untuk pengangkatan berat atau perletakan pipa. Spesifikasi lengkap kran pada DLB 1600 disajikan dalam **Tabel 16**.

Tabel 16 Spesifikasi Kran pada DLB 1600

Parameter	Main	Aux.	Whip
Panjang Tiang	70.0 m	76.9 m	85.5 m
Kapasitas Hook	1,300 MT @ 25.5-32.0 m (fixed) 1,100 MT @ 25.5-32.0 m (revolve)	300 MT @ 28.5-70.0 m	50 MT @ 32.6-90.6 m
Kapasitas Angkat	(+) 72.5 m	(-) 150 m	

Tabel 17 menunjukkan perbandingan kapasitas dan kebutuhan kran yang akan digunakan. Berdasarkan perbandingan tersebut, disimpulkan bahwa DLB 1600 dapat digunakan untuk instalasi struktur *jacket* di lahan Kepodang.

Tabel 17 Perbandingan Kapasitas dan Kebutuhan Kran

Hook	Beban Maksimum (ton)		Radius Pengangkatan (m)		Tinggi Pengangkatan (m)		Cek
	Kebutuhan	Kapasitas	Kebutuhan	Kapasitas	Kebutuhan	Kapasitas	
Main	827	1,300	30.0	25.5 – 32.0	(+) 17	(+) 72.5	OK
Aux.	213	300	50.0	28.5 – 70.0	(-) 50	(-) 150	OK

KESIMPULAN

Berdasarkan pemodelan analisis *inplace* dan analisis *instalasi* struktur *jacket* di lahan Kepodang dapat disimpulkan beberapa hal antara lain:

- Instalasi struktur *jacket* dilakukan dengan tambahan dua buah *buoyancy tank* masing-masing sepanjang 22 m dengan diameter 2.70 m.
- Pada tahap instalasi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada LEG 8 sama sekali sehingga disarankan tindakan pencegahan berupa penambahan *closure plate* pada *jacket leg* tersebut.
- Kondisi rusak terparah yang diizinkan terjadi saat instalasi adalah kerusakan pada tiga buah *jacket leg* atau pada kedua *buoyancy tank* (**Tabel 4**).
- Proses instalasi dengan kerusakan pada *jacket leg* di row A membutuhkan tambahan gaya angkat sehingga instalasi dilakukan dengan metode pengangkatan oleh dua buah hook pada sebuah *crane* (*double hook with single crane* (DHSC)).
- Hasil analisis *upending* menunjukkan bahwa dalam instalasi struktur *jacket* dibutuhkan *crane* dengan kapasitas *main hook* minimum sebesar 827 ton pada radius 30 m dan kapasitas *auxiliary hook* sebesar 213 ton pada radius 50 m sehingga digunakan kapal *crane* DLB 1600 milik Valentine Maritime LCC.

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute. 2000. *Recommended Practice for Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms API-RP2A WSD 21st edition*. Washington D.C.: API Publishing Services.
- Chakrabarti, Subrata K. 2005. *Handbook of Offshore Engineering*. Inggris: Elsevier.
- Noble Denton Group Limited. 2010. *Technical Policy Board Guideline for Marine Lifting Operations*. Hamburg: Noble Denton Group Limited.
- Noble Denton Group Limited. 2010. *Technical Policy Board Guideline for the Transportation and Installation of Steel Jackets*. Hamburg: Noble Denton Group Limited.

Tawekal, R. L. 2011. *KL 4121 Bangunan Lepas Pantai I*. Bandung: Penerbit ITB.